

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-195807

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

H01L 31/10

(21)Application number : 10-192793

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 08.07.1998

(72)Inventor : FUKANO HIDEKI

(30)Priority

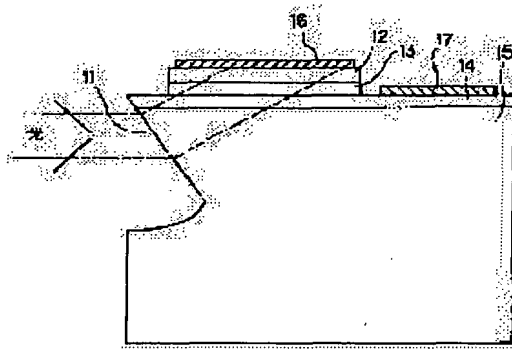
Priority number : 09305148 Priority date : 07.11.1997 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT RECEIVING ELEMENT AND MANUFACTURE THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a refraction type light receiving element having an extremely flat slope incident end face even against a light beam of a very small size, in a refraction type light receiving element as well as its manufacturing method.

SOLUTION: In a semiconductor light receiving element having light receiving portions on a substrate 15 comprising a first semiconductor layer 14 having a first conductive type, a second semiconductor layer 12 having a second conductive type, and a light receiving portion comprising a light receiving layer 13 placed between the first semiconductor layer 14 and the second semiconductor layer 12, the incident light is refracted at the light incident end face 11 by providing a light incident end face 11 sloped to the inner side as the distance from the surface side increases from a place separated by infinite length for light receiving portion comprising the light receiving layer 13 at the end face of the substrate 15 or the growth layer at the substrate side except the light receiving layer 13, thereby passing the light receiving layer 13 diagonally relative to the layer thickness direction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-195807

(43)公開日 平成11年(1999)7月21日

(51)Int.Cl.⁹

H 0 1 L 31/10

識別記号

F I

H 0 1 L 31/10

A

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全12頁)

(21)出願番号 特願平10-192793

(22)出願日 平成10年(1998)7月8日

(31)優先権主張番号 特願平9-305148

(32)優先日 平9(1997)11月7日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 深野 秀樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

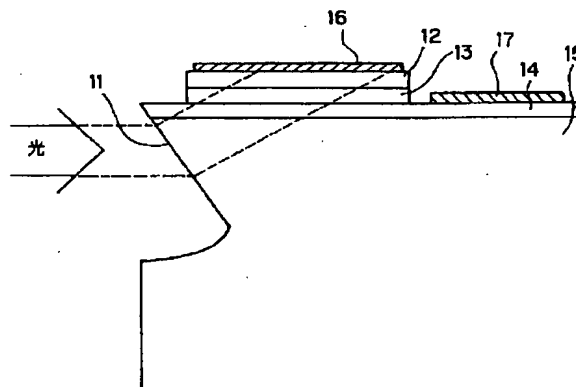
(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

(54)【発明の名称】 半導体受光素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 屈折型光受光素子において、微小サイズの光ビームに対しても極めて平坦な傾斜入射端面を有する屈折型光受光素子及びその製造方法を提供することにある。

【解決手段】 第1の導電形を有する第1の半導体層14と第2の導電形を有する第2の半導体層12及び前記第1の半導体層14と第2の半導体層12に挟まれた光受光層13とからなる受光部分を基板15上に設けてなる半導体受光素子において、前記光受光層13を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面11を設けることにより、該光入射端面11で入射光を屈折させて、前記光受光層13を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする。



- 11 光入射端面
- 12 p-InP層
- 13 InGaAs光受光層
- 14 n-InP層
- 15 半絶縁性InP層
- 16 p電極
- 17 n電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の導電性を有する第1の半導体層と第2の導電性を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分を基板上に設けてなる半導体受光素子において、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする半導体受光素子。

【請求項2】 真性又は第1の導電性を有する第1の半導体層と同じく第1の導電性を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分とからなる成長層を基板上に設ける一方で、表面側の第1の半導体層の主たる内側部分又は前記光受光層の一部分を含んで第1の半導体層の主たる内側部分が不純物の拡散によって選択的に第2の導電性に転換し、更に、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする半導体受光素子の製造方法。

【請求項3】 真性又は第1の導電性を有する第1の半導体層と同じく第1の導電性を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分とからなる成長層を基板上に設ける一方で、表面側の第1の半導体層の主たる内側部分又は前記光受光層の一部分を含んで第1の半導体層の主たる内側部分がイオン注入法とその後のアニールによって選択的に第2の導電性に転換し、更に、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする半導体受光素子の製造方法。

【請求項4】 第1の導電性を有する半導体層上にあって、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層又は多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子において、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、

表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする半導体受光素子。

【請求項5】 前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) よりなることを特徴とする請求項4記載の半導体受光素子。

【請求項6】 前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする請求項4記載の半導体受光素子。

【請求項7】 前記光受光層と前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層との間に、前記光受光層と同一の組成から前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層と同一の組成へと連続的又は階段的に変化する組成勾配を有する傾斜組成層を介装したことを特徴とする請求項4、5又は6記載の半導体受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体受光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の屈折型半導体受光素子は、図2(a)に示すように、光入射傾斜端面が最表面層から光受光層を横切って形成されているか又は、図2(b)に示すように光受光層の直下の層より光受光層に接して傾斜が始まる構造になっている。尚、図2(a)中、21aは光入射端面、22aはp-InP層、23aはInGaAs光受光層、24aはn-InP層、25aはn-InP基板、26aはp電極、27aはn電極である。また、図2(b)中、21bは光入射端面、22bはp-InP層、23bはInGaAs光受光層、24bはn-InP層、25bはn-InP基板、26bはp電極、27bはn電極である。

【0003】このような受光素子の製作工程において、ブロムメタノール等のウェットエッチングを用いて逆メサ光入射端面21aを形成する際、ナローギャップである光受光層23aを含むエッチングやエッチングの直近に光受光層23aが存在するエッチングでは、ナローギャップである光受光層23aはエッチング速度が相対的に早く、また、サイドエッチングが入りやすいため、深いエッチングの際中に、不均一なサイドエッチングが起きたりするなどのエッチングむらが発生しやすく、エッチング面に微小な凹凸や波打ちが発生するという問題がある。

【0004】入射光のスポットサイズが大きい場合は、凹凸や波打ちの影響は小さいが、先球ファイバやレンズを用いて光ビームが絞られて入射される場合、この影響

が現れ、ビームが散乱されるようになりビームの集光性が低下する等の問題がある。また、従来構造では、高速応答を得るためには、入射位置はできる限り最表面側に設定し、受光面積が最小になるようにしなければならず、入射光位置が基板側へ下がると、これに対し受光できるように受光部分を長くする必要がある。これに伴い、受光面積が増大し高速応答性能が劣化するという問題があった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、屈折型光受光素子において、微小サイズの光ビームに対しても極めて平坦な傾斜入射端面を有する屈折型光受光素子及びその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】斯かる目的を達成する本発明の請求項1に係る半導体受光素子は、第1の導電形を有する第1の半導体層と第2の導電形を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分を基板上に設けてなる半導体受光素子において、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする。

【0007】上記目的を達成する本発明の請求項2に係る半導体受光素子の製造方法は、真性又は第1の導電形を有する第1の半導体層と同じく第1の導電形を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分とからなる成長層を基板上に設ける一方で、表面側の第1の半導体層の主たる内側部分又は前記光受光層の一部分を含んで第1の半導体層の主たる内側部分が不純物の拡散によって選択的に第2の導電形に転換し、更に、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする。

【0008】上記目的を達成する本発明の請求項3に係る半導体受光素子の製造方法は、真性又は第1の導電形を有する第1の半導体層と同じく第1の導電形を有する第2の半導体層及び前記第1の半導体層と第2の半導体層に挟まれた光受光層とからなる受光部分とからなる成長層を基板上に設ける一方で、表面側の第1の半導体層の主たる内側部分又は前記光受光層の一部分を含んで第1の半導体層の主たる内側部分がイオン注入法とその後のアニールによって選択的に第2の導電形に転換し、更

に、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする。

【0009】上記目的を達成する本発明の請求項4に係る半導体受光素子は、第1の導電形を有する半導体層上にあって、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層又は多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子において、前記光受光層を除く基板側成長層又は前記基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにしたことを特徴とする。

【0010】上記目的を達成する本発明の請求項5に係る半導体受光素子は、請求項4において、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) よりなることを特徴とする。上記目的を達成する本発明の請求項6に係る半導体受光素子は、請求項4において、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする。

【0011】上記目的を達成する本発明の請求項7に係る半導体受光素子は、請求項4、5又は6において、前記光受光層と前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層との間に、前記光受光層と同一の組成から前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層と同一の組成へと連続的又は段階的に変化する組成勾配を有する傾斜組成層を介装したことを特徴とする。

【0012】〔作用〕本発明は、受光部分を有する半導体受光素子において、図1に示すように光受光層を除く基板側成長層又は基板の端面には、光受光層よりなる受光部分に対して有限の長さ離れた所から、表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにし、光受光層で入射光が吸収され高効率で電流して検出できるようにしたものである。従来技術に対し、光入射端面が極めて平坦に安定に形成できる点に特徴がある。

【0013】ここで、光入射端面は光受光層を除く基板側成長層又は基板部分に、光受光層よりなる受光部分に

対して有限の長さ離れた所から形成されるために、光入射端面形成時にエッチング速度が相対的に早いナローギャップの光受光層をエッチングすることがなくなり、エッチングむらが生じず、歩留まり良く平坦な光入射端面が形成できる。従って、本発明では、ナローギャップの光受光層が光入射端面を形成する半導体層に含まれず、また、ナローギャップの光受光層部分が光入射端面に接していないため、深いエッチングの際中に、不均一なサイドエッチングが起きたりするなどのエッチングむらの発生がほとんどなく、極めて平坦な光入射端面が得られる。

【0014】この結果、先球ファイバやレンズを用いて絞られた光ビームに対しても端面での散乱はなくなり、ビームの集光性が維持され、微小受光面積で光が受光できるようになり、超高速の受光素子が製作可能となる。また、受光部分を光入射端面と有限の長さ離して製作することは受光部分を光入射端面と完全に独立に製作できることを意味し、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、入射光位置が最表面に対して基板側へ下がっても、これに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、石英系光導波路等の上にハイブリッド集積する時等、フレキシブルに対応できる。

【0015】

【発明の実施の形態】〔実施例1〕本発明の第1の実施例を図1に示す。図1において、11は光入射端面、12は $1\mu\text{m}$ 厚p-InP層、13は $1.0\mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、14は $1\mu\text{m}$ 厚n-InP層、15は半絶縁性InP基板、16はp電極、17はn電極である。素子の光受光層面積は $10\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ である。なお、本実施例では、光入射端面11は、(001)表面のウェハをブロムメタノールを用いてウェットエッチングを行い、(111)A面がでることを利用して形成した。

【0016】この時、逆メサエッチングは、InPのみより成るn-InP層14と半絶縁性InP基板15に行われるため、均一な平坦性の良い傾斜光入射端面11が、歩留まり良く形成できる。また、光受光層13を含む受光部分からは $8\mu\text{m}$ 離れた所にエッチング用マスクを形成し、 $30\mu\text{m}$ 程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、 $3\mu\text{m}$ 程度のサイドエッチングが起きるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層13が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0017】もちろん、逆メサは他のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成しても良いし、

他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成しても良い。いずれの方法に対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留まり良く平坦な光入射端面11が形成できる。このように極めて平坦な光入射端面11が形成できるため、光入射端面11に無反射膜を形成することにより、先球ファイバでビーム径を絞った波長 $1.3\mu\text{m}$ の光においても、光入射端面11でビームが散乱されことなく集光性良く受光部分に屈折光が導入され、印加逆バイアス 1.5V で受光感度 0.8A/W 以上の大きな値が得られた。

【0018】また、このような小サイズの受光面積で受光できるため、 3dB 帯域 40GHz の高速動作が可能であった。このように、受光部分を光入射端面11と離して製作することは受光部分を光入射端面11と完全に独立に製作できることを意味し、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、入射光位置が最表面に対して基板側へ下がっても、これに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、石英系光導波路であるPLC (Planer Lightwave Circuit) 上にハイブリッド集積する時、光軸位置の変化に対し、高速性能を劣化させることなくフレキシブルに対応できた。

【0019】本実施例では、基板側にn-InP層を用いた例であるが、p-InP層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、光受光層13として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSAGM (Separate-absorption-graded-multiplication) 構造やSAM-SL (Separate absorption and multiplication superlattice) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いても良いことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でも良いことは言うまでもない。

【0020】〔実施例2〕本発明の第2の実施例を図3に示す。図3において、31は光入射端面、32は $1\mu\text{m}$ 厚InP層、322はZn拡散により形成したp-InP層、33は $1.0\mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、34は $1\mu\text{m}$ 厚n-InP層、35は半絶縁性InP基板、36はp電極、37はn電極である。素子の光受光層面積は $10\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ である。なお、本実施例では、光入射端面31は、(001)表面のウェハをブロムメタノールを用いてウェットエッチングを行い、(111)A面がでることを利用して形成した。

【0021】この時、逆メサエッチングは、InPのみより成るn-InP層34とInP基板35に行われるた

め、均一な平坦性の良い傾斜光入射端面31が、歩留まり良く形成できる。また、光受光層33を含む受光部分からは $8\mu\text{m}$ 離れた所にエッチング用マスクを形成し、 $30\mu\text{m}$ 程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、 $3\mu\text{m}$ 程度のサイドエッチングが起きるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層33が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0022】もちろん、逆メサは他のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成しても良いし、他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成しても良い。いずれの方法に対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留り良く平坦な光入射端面31が形成できる。

【0023】このように極めて平坦な光入射端面31が形成できるため、光入射端面31に無反射膜を形成することにより、先球ファイバでビーム径を絞った波長 $1.3\mu\text{m}$ の光においても、光入射端面31でビームが散乱されことなく集光性良く受光部分に屈折光が導入され、印加逆バイアス 1.5V で受光感度 0.8A/W 以上の大きな値が得られた。暗電流は、無反射膜形成後においても 10pA 程度の十分小さな値が得られた。また、このような小サイズの受光面積で受光できるため、 3dB 帯域 40GHz の高速動作が可能であった。

【0024】このように、受光部分を光入射端面31と離して製作することは受光部分を光入射端面31と完全に独立に製作できることを意味し、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、入射光位置が最表面に対して基板側へ下がっても、これに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、石英系光導波路であるPLC上にハイブリッド集積する時、光軸位置の変化に対し、高速性能を劣化させることなくフレキシブルに対応できた。

【0025】本実施例では、表面側の主たる部分の半導体の導電性を、Znの拡散により決定しているが、イオン注入法とその後のアニールによって決定しても良い。本実施例では、基板側にn-InP層を用いた例であるが、p-InP層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、光受光層33として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSAGM (Separate-absorption-graded-multiplication) 構造やSAM-SL (Separate absorption and multiplication superlattice) 構造や他の超格子構造の半導体層等を

用いても良いことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でも良いことは言うまでもない。

【0026】〔実施例3〕本発明の第3の実施例を図4に示す。図4において、41は光入射端面、42は $0.2\mu\text{m}$ 厚アンドープ又はn-InAlAs層、43はInAlAsからInGaAsまで組成をなめらかに変化させた $0.1\mu\text{m}$ 厚アンドープ又はn-In_{1-x-y}Ga_xAl_yAs ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)層、44は $1\mu\text{m}$ 厚アンドープ又はn-InGaAs光受光層、45は $1\mu\text{m}$ 厚n-InP層、46は半絶縁性InP基板、47はPt/Ti/Auショットキー電極、48はオーミックn電極である。素子の光受光層面積は $10\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ である。光入射端面41での光の屈折により光受光層44に対し、斜めに光が通過するため、実効的光吸収長が長くなる。

【0027】また、ショットキー電極47が屈折した入射光に対し、反射ミラーとして作用するため吸収長がさらに等価的に2倍となり、光受光層厚 $1\mu\text{m}$ で、光入射端面41に無反射膜を形成することにより、波長 $1.3\mu\text{m}$ の光において印加逆バイアス 1.5V で受光感度 0.9A/W 以上の大きな値が得られた。なお、本実施例では、光入射端面41は、(001)表面のウェハをブロムメタノールを用いてウェットエッチングを行い、(111)A面ができることを利用して形成した。

【0028】この時、逆メサエッチングは、InPのみより成るn-InP層45とInP基板46に行われるため、均一な平坦性の良い傾斜光入射端面41が、歩留まり良く形成できる。また、光受光層44を含む受光部分からは $8\mu\text{m}$ 離れた所にエッチング用マスクを形成し、 $30\mu\text{m}$ 程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、 $3\mu\text{m}$ 程度のサイドエッチングが起きるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層44が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0029】もちろん、逆メサは他のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成しても良いし、他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成しても良い。いずれの方法に対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留り良く平坦な光入射端面41が形成できる。このように極めて平坦な光入射端面41が形成できるため、光入射端面41に無反射膜を形成することにより、先球ファイバでビーム径を絞った波長 $1.3\mu\text{m}$ の光においても、光入射端面41でビームが散乱されことなく集光性良く受光部分に屈折光が導入された。暗電流は、無反射膜形成後

においても1 nA程度の十分小さな値が得られた。

【0030】また、このような小サイズの受光面積で受光できるため、3 dB帯域30 GHzの高速動作が可能であった。このように、受光部分を光入射端面41と離して製作することは受光部分を光入射端面41と完全に独立に製作できることを意味し、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、入射光位置が最表面に対して基板側へ下がっても、これに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、石英系光導波路であるPLC上にハイブリッド集積する時、光軸位置の変化に対し、高速性能を劣化させることなくフレキシブルに対応できた。

【0031】本実施例では、InAlAsからInGaAsまで組成をなめらかに変化させた傾斜組成層43を用いて伝導帯及び価電子帯のなめらかな接続を図っているが、この層43としては1層以上の多層半導体薄膜よりなる階段状の組成層で構成した疑似的な傾斜組成層でも良い。また、層44と層45の間にもInGaAsからInPまで組成を変化させた $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) 傾斜組成層又は疑似的な傾斜組成層を用いて伝導帯及び価電子帯のなめらかな接続を図っても良い。

【0032】また、半導体受光素子としては、第1導電形を有する半導体層上において、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層44とショットキー電極47との間に、前記光受光層44と前記ショットキー電極47との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極47に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介在した多層構造を基板上に構成してもよい。また、ショットキーバリアハイトの高い半導体層としては、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) を用いることができる。

【0033】本実施例では、基板側にn-InP層を用いた例であるが、p-InP層を用いても上記のpとnを逆にしても同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、光受光層44として均一組成のバルクを用いるが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSAGM (Separate-absorption-graded-multiplication) 構造やSAM-SL (Separate absorption and multiplication superlattice) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いても良いことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でも良いことは言うまでもない。

【0034】〔実施例4〕本発明の第4の実施例を図5に示す。図5において、51は光入射端面、59は5 n

m厚アンドープ又はn-InP層、52は0.2 μm 厚アンドープ又はn-InAlAs層、53はInAlAsからInGaAsまで組成をなめらかに変化させた0.1 μm 厚アンドープ又は $\text{n-In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 層、54は1 μm 厚アンドープ又はn-InGaAs光受光層、55は1 μm 厚n-InP層、56は半絶縁性InP基板、57はPt/Ti/Auショットキー電極、58はオーミックn電極である。素子の光受光層面積は10 $\mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ である。

【0035】本実施例では、最表面に極薄のInP層59を用いているため、InAlAsに比べ、表面酸化耐性が高い。光入射端面51での光の屈折により光受光層54に対し、斜めに光が通過するため、実効的光吸収長が長くなる。また、ショットキー電極57が屈折した入射光に対し、反射ミラーとして作用するため吸収長がさらに等価的に2倍となり、光受光層厚1 μm で、光入射端面51に無反射膜を形成することにより、波長1.3 μm において印加逆バイアス1.5 Vで受光感度0.9 A/W以上の大きな値が得られた。なお、本実施例では、光入射端面51は、(001)表面のウェハをブロムメタノールを用いてウェットエッチングを行い、(111)A面ができることを利用して形成した。

【0036】この時、逆メサエッチングは、InPのみより成るn-InP層55とInP基板56に行われるため、均一な平坦性の良い傾斜光入射端面51が、歩留まり良く形成できる。また、光受光層54を含む受光部分からは8 μm 離れた所にエッチング用マスクを形成し、30 μm 程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、3 μm 程度のサイドエッチングが起きるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層54が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0037】もちろん、逆メサは他のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成しても良いし、他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成しても良い。いずれの方法に対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留まり良く平坦な光入射端面51が形成できる。

【0038】このように極めて平坦な光入射端面51が形成できるため、光入射端面51に無反射膜を形成することにより、先球ファイバでビーム径を絞った波長1.3 μm の光においても、光入射端面51でビームが散乱されことなく集光性良く受光部分に屈折光が導入された。暗電流は、無反射膜形成後においても1 nA程度の十分小さな値が得られた。また、このような小サイズの受光面積で受光できるため、3 dB帯域30 GHzの高速動作が可能であった。

【0039】このように、受光部分を光入射端面51と離して製作することは受光部分を光入射端面51と完全に独立に製作できることを意味し、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、入射光位置が最表面に対して基板側へ下がっても、これに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、石英系光導波路であるPLC上にハイブリッド集積する時、光軸位置の変化に対し、高速性能を劣化させることなくフレキシブルに対応できた。

【0040】本実施例では、InAlAsからInGaAsまで組成をなめらかに変化した傾斜組成層53を用いて伝導帯及び価電子帯のなめらかな接続を図っているが、この層53としては1層以上の多層半導体薄膜よりなる階段状の組成層で構成した疑似的な傾斜組成層でも良い。また、層54と層55の間にもInGaAsからInPまで組成を変化させた $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) 傾斜組成層又は疑似的な傾斜組成層を用いて伝導帯及び価電子帯のなめらかな接続を図っても良い。

【0041】また、半導体受光素子としては、第1の導電形を有する半導体層上にあって、真性又は第1の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層54とショットキー電極57との間に、前記光受光層54と前記ショットキー電極57との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極57に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してもよい。また、ショットキーバリアハイトの高い半導体層としては、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) を用いることができ、更に、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなる半導体受光素子で構成してもよい。

【0042】本実施例では、基板側にn-InP層を用いた例であるが、p-InP層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、光受光層54として均一組成のバルクを用いるが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSAGM (Separate-absorption-graded-multiplication) 構造やSAM-SL (Separate absorption and multiplication superlattice) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いても良いことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でも良いことは言うまでもない。

【0043】〔実施例5〕本発明の第5の実施例を図6に示す。図6において、61は光入射端面、62は上層

より、 $0.1 \mu\text{m}$ 厚p-InGaAsコンタクト層、 $1.3 \mu\text{m}$ 厚p-InP層、 $0.2 \mu\text{m}$ 厚p-InGaAsP層 ($1.15 \mu\text{m}$ 波長組成) よりなるp形半導体層で、63は $1.0 \mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、64は上側より $2 \mu\text{m}$ 厚n-InGaAsP層 ($1.15 \mu\text{m}$ 波長組成)、 $0.2 \mu\text{m}$ 厚InP層よりなるn形半導体層、65は半絶縁性InP基板、66はp電極、67はn電極である。素子の受光層面積は $14 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ である。

【0044】図7は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 光に対する $1 \mu\text{m}$ 厚InGaAs光吸収層における内部量子効率の逆メサ角 (θ) 依存性の計算結果である。逆メサ角 (θ) の増大につれ実効吸収長が増大し、内部量子効率が増大する。なお、本実施例では、光入射端面61は、(001)表面のウエハをブロムメタノールを用いてウエットエッチングを行い、(111)A面が表面に対し、 $54^\circ 44'$ の角度で形成されることを利用して形成した。

【0045】この時、逆メサエッチングは、InPのみより成るInP基板65に行われるため、均一な平坦性のよい傾斜光入射端面が、歩留まりよく形成できる。また、受光層を含む受光部分からは $8 \mu\text{m}$ 離れた所にエッチング用マスクを形成し、 $30 \mu\text{m}$ 程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、 $3 \mu\text{m}$ 程度のサイドエッチングがおきるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0046】もちろん、逆メサは他のウエットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成してもよいし、他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成しても良い。いずれの方法に対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留まりよく平坦な光入射端面61が形成できる。

【0047】このように極めて平坦な光入射端面61が形成できるため、入射面に無反射膜を形成することにより、ファイバからの出射光をレンズでビーム径を絞った波長 $1.55 \mu\text{m}$ のスポットサイズ $2W_s = 3.4 \mu\text{m}$ の光においても、入射端面でビームが散乱されることなく集光性よく受光部分に屈折光が導入され、印加逆バイアス5Vで受光感度 1.0 A/W の大きな値が得られた。

【0048】また、ビームを水平(X)および垂直(Y)方向に入射位置を移動させて、その時の受光感度の入射位置依存性を測定したものが図8(a), (b)である。受光感度が1dB低下する光軸ずれ許容度は水平方向 $13.4 \mu\text{m}$ 、垂直方向 $3.3 \mu\text{m}$ と大きい。このため、低コスト化が図れるシンプルな単レンズ構成により受光モジュールの製作ができた。製作したモジュールのほとんどが $0.8 \sim 1.0 \text{ A/W}$ の高い受光感度を示

した。図9に製作したモジュールのバイアス電圧5Vにおける周波数応答特性を示す。小サイズの受光面積で受光できるため、3dB帯域3.8GHzの高速動作が可能であった。

【0049】本実施例では、基板側にn形半導体層を用いた例であるが、p形半導体層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、受光層として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSeparate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造やSeparate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0050】〔実施例6〕本発明の第6の実施例を図10に示す。図10において、101は光入射端面、102は上層より、0.1 μ m厚p-InGaAsコンタクト層、1.3 μ m厚p-InP層、0.2 μ m厚p-InGaAsP層(1.15 μ m波長組成)よりなるp形半導体層で、103は1.0 μ m厚InGaAs光受光層、104は2 μ m厚n-InP層、105は半絶縁性InP基板、106はp電極、107はn電極である。素子の受光層面積は14 μ m \times 20 μ mである。

【0051】図11は、波長1.55 μ m光に対する1 μ m厚InGaAs光吸収層における内部量子効率の逆メサ角(θ)依存性の計算結果である。逆メサ角(θ)の増大につれ実効吸収長が増大し、内部量子効率が増大する。なお、本実施例では、光入射端面101は、(001)表面のウエハをブロムメタノールを用いてウエットエッチングを行い、(111)A面が表面に対し、54°44'の角度で形成されることを利用して形成した。

【0052】この時、逆メサエッチングは、InP基板105を含むInPのみより成る部分に行われるため、均一な平坦性のよい傾斜光入射端面101が、歩留まりよく形成できる。また、受光層を含む受光部分からは8 μ m離れた所にエッチング用マスクを形成し、30 μ m程度の深い逆メサエッチングを施しており、この時、3 μ m程度のサイドエッチングがおきるが、受光部分は、サイドエッチング部分に接することなく、従って、光受光層が相対的にエッチング速度が早いこと等に起因した異常なサイドエッチングや、エッチングむら等が発生することもない。また、メサ角の揃った均一な素子が製作できる。

【0053】もちろん、逆メサは他のウエットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成してもよいし、他の結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成してもよい。いずれの方法に

対しても、エッチング対象が均一組成のInP層のみであるため、エッチングむらが発生しにくく、歩留まりよく平坦な光入射端面101が形成できる。

【0054】このように極めて平坦な光入射端面101が形成できるため、入射面に無反射膜を形成することにより、ファイバからの出射光をレンズで光束径を絞った波長1.55 μ mのスポットサイズ2Ws=3.4 μ mの光においても、入射端面で光束が散乱されことなく集光性よく受光部分に屈折光が導入され、印加逆バイアス5Vで受光感度1.0A/Wの大きな値が得られた。

【0055】また、光束を水平(X)および垂直(Y)方向に入射位置を移動させて、その時の受光感度の入射位置依存性を測定したものが図12(a)、

(b)である。受光感度が1dB低下する光軸ずれ許容度は水平方向13.4 μ m、垂直方向3.3 μ mと大きい。このため、低コスト化が図れるシンプルな単レンズ構成により受光モジュールの製作ができた。製作したモジュールのほとんどが0.8~1.0A/Wの高い受光感度を示した。図13に製作したモジュールのバイアス電圧5Vにおける周波数応答特性を示す。小サイズの受光面積で受光できるため、3dB帯域3.8GHzの高速動作が可能であった。

【0056】本実施例では、基板側にn形半導体層を用いた例であるが、p形半導体層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。また、ここでは、受光層として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられるSeparate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造やSeparate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0057】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、ナローギャップの光受光層が光入射端面を形成する半導体層に含まれず、また、ナローギャップの光受光層部分が光入射端面に接していないため、深いエッチングの際中に、不均一なサイドエッチングが起きたりするなどのエッチングむらの発生がほとんどなく、極めて平坦な光入射端面が得られる。この結果、先球ファイバやレンズを用いて絞られた光ビームに対しても端面での散乱はなくなり、光束の集光性が維持され、微小受光面積で光が受光できるようになり、超高速の受光素子が製作可能となる。また、受光部分を光入射端面と有限の長さ離して製作するため、受光部分を光入射端面と完全に独立に製作でき、従って、光をレンズ等で絞って入射する場合、焦点

のビームサイズと同等まで素子受光部分を微小化でき、超高速応答が可能となる。また、光導波路とのハイブリッド集積やモジュール化において入射光位置の上下移動が必要になった場合でも、それに合わせて屈折を考慮して受光部分を受光面積を増やすことなく最適な位置に設定できるため、高速性能を維持したまま、フレキシブルに対応できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図2】従来技術に係る半導体受光素子の断面図である。

【図3】本発明の第2の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図4】本発明の第3の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図5】本発明の第4の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図6】本発明の第5の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図7】波長1.55 μ m光に対する1 μ m厚InGaAs光吸収層における内部量子効率の逆メサ角(θ)依存性の計算結果である。

【図8】(a), (b)は、ビームを水平(X)および垂直(Y)方向に入射位置を移動させて、その時の受光感度の入射位置依存性を測定したものである。

【図9】製作したモジュールのバイアス電圧5Vにおける周波数応答特性である。

【図10】本発明の第6の実施例に係る半導体受光素子の断面図である。

【図11】波長1.55 μ m光に対する1 μ m厚InGaAs光吸収層における内部量子効率の逆メサ角(θ)依存性の計算結果である。

【図12】(a), (b)は、ビームを水平(X)および垂直(Y)方向に入射位置を移動させて、その時の受光感度の入射位置依存性を測定したものである。

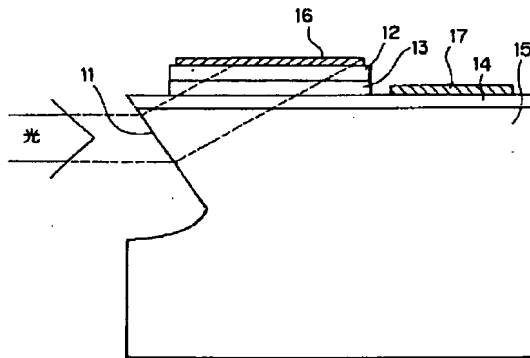
【図13】製作したモジュールのバイアス電圧5Vにおける周波数応答特性である。

【符号の説明】

- 11 光入射端面
- 12 p-InP層
- 13 InGaAs光受光層
- 14 n-InP層
- 15 半絶縁性InP基板
- 16 p電極

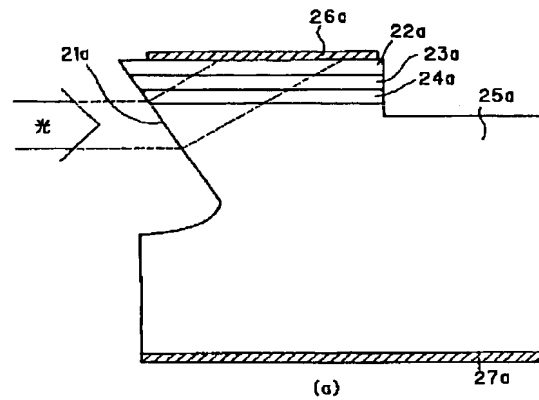
- 17 n電極
- 31 光入射端面
- 32 InP層
- 322 p-InP層
- 33 InGaAs光受光層
- 34 n-InP層
- 35 半絶縁性InP基板
- 36 p電極
- 37 n電極
- 41 光入射端面
- 42 アンドープ又はn-InAlAs層
- 43 アンドープ又はn-In_{1-x-y}Ga_xAl_yAs層
- 44 アンドープ又はn-InGaAs光受光層
- 45 n-InP層
- 46 半絶縁性InP基板
- 47 Pt/Ti/Auショットキー電極
- 48 オーミックn電極
- 51 光入射端面
- 59 アンドープ又はn-InP層
- 52 アンドープ又はn-InAlAs層
- 53 アンドープ又はn-In_{1-x-y}Ga_xAl_yAs層
- 54 アンドープ又はn-InGaAs光受光層
- 55 n-InP層
- 56 半絶縁性InP基板
- 57 Pt/Ti/Auショットキー電極
- 58 オーミックn電極
- 61 光入射端面
- 62 上層より、0.1 μ m厚p-InGaAsコンタクト層、1.3 μ m厚p-InP層、0.2 μ m厚p-InGaAsP層(1.15 μ m波長組成)よりなるp形半導体層
- 63 1.0 μ m厚InGaAs光受光層
- 64 上側より2 μ m厚n-InGaAsP層(1.15 μ m波長組成)、0.2 μ m厚InP層よりなるn形半導体層
- 65 半絶縁性InP基板
- 66 p電極
- 67 n電極
- 101 光入射端面
- 102 上層より、0.1 μ m厚p-InGaAsコンタクト層、1.3 μ m厚p-InP層、0.2 μ m厚p-InGaAsP層(1.15 μ m波長組成)よりなるp形半導体層
- 103 1.0 μ m厚InGaAs光受光層
- 104 2 μ m厚n-InP層
- 105 半絶縁性InP基板
- 106 p電極
- 107 n電極

【図1】

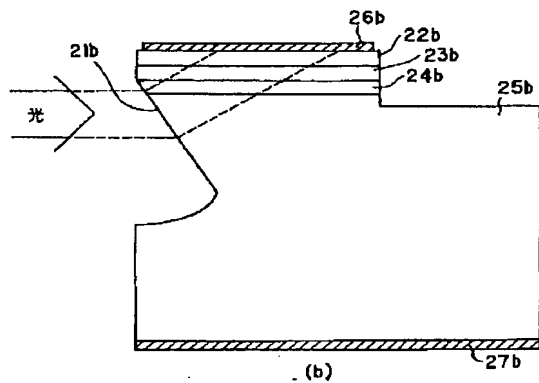


- 11 光入射端面
12 p-InP層
13 InGaAs光受光層
14 n-InP層
15 半絶縁性InP層
16 p電極
17 n電極

【図2】

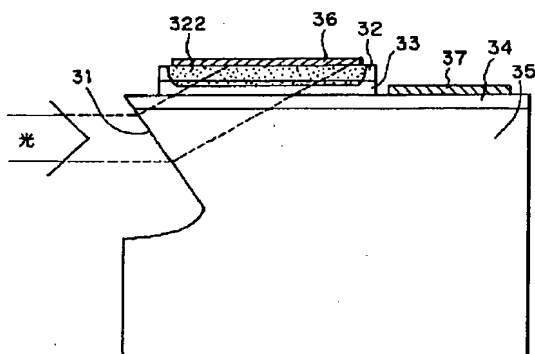


(a)

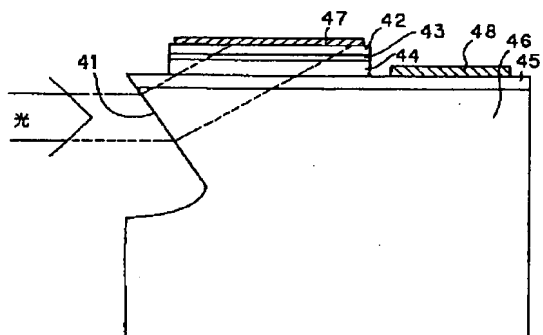


(b)

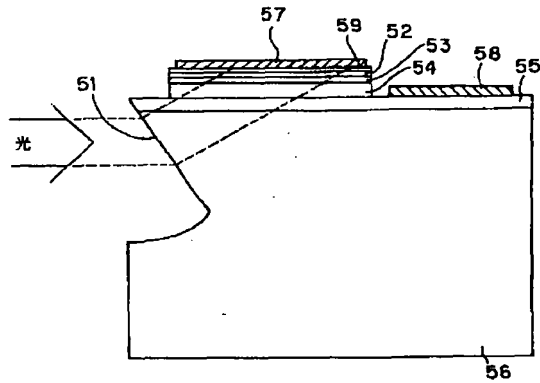
【図3】



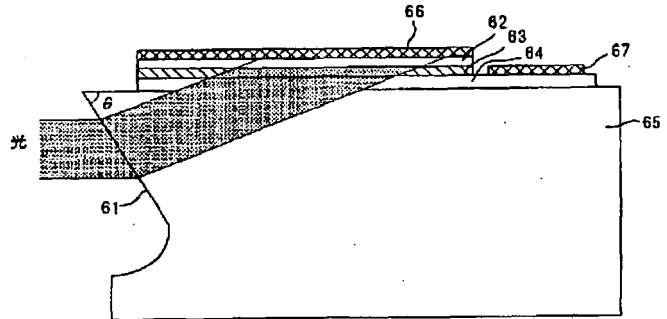
【図4】



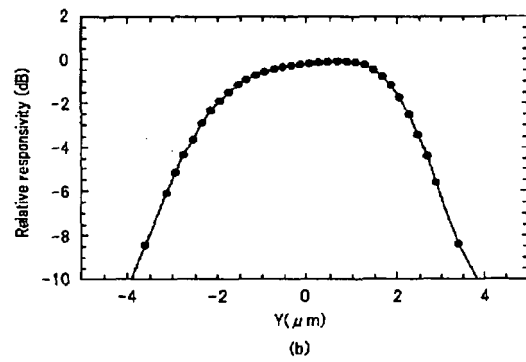
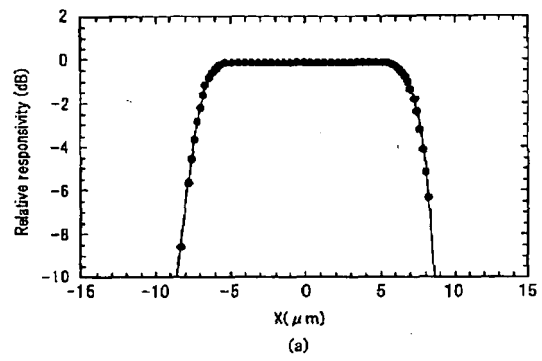
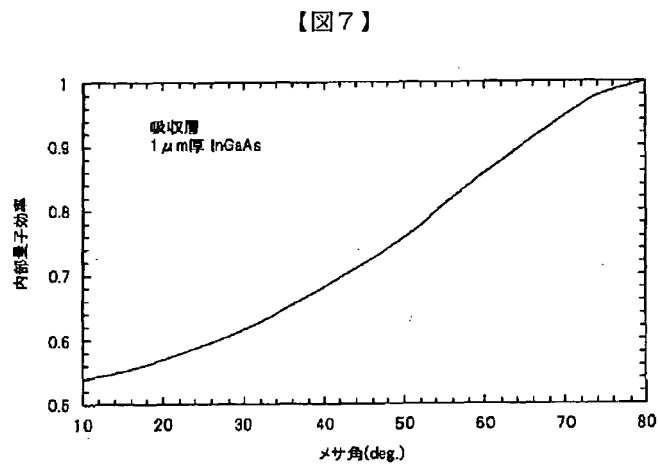
【図5】



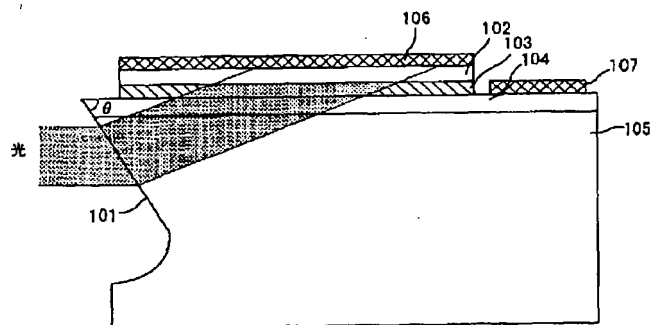
【図6】



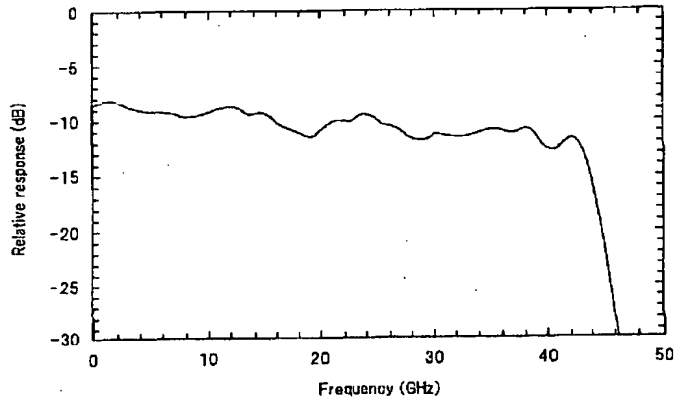
【図8】



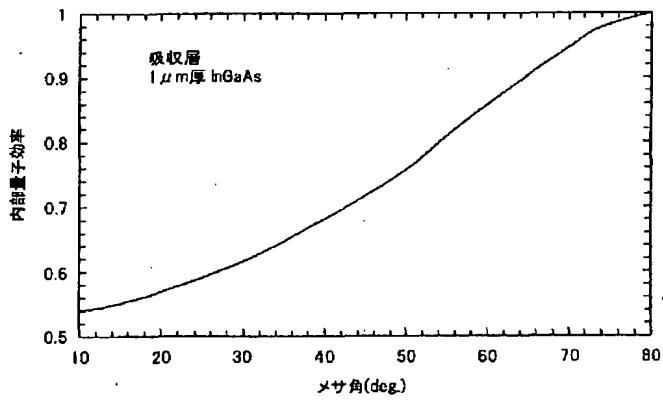
【図10】



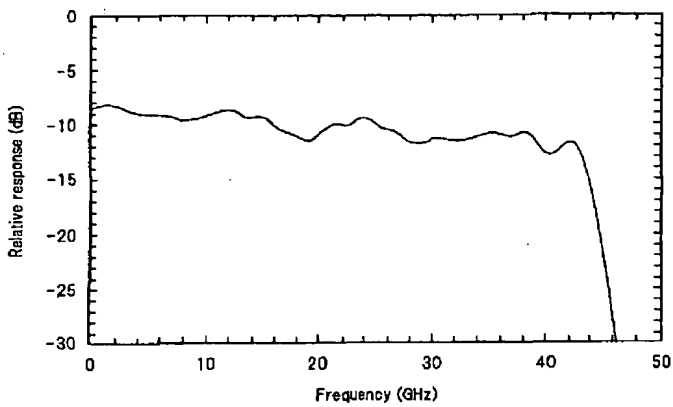
【図9】



【図11】



【図13】



【図12】

